

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Lubomír Kujal

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

**Měření částečných výbojů na zařízení vn
a vvn**

**Partial Discharges Measurement in the
High Voltage Device**

2012

Lubomír Kujal

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Lubomír Kujal**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Měření částečných výbojů na zařízení VN a VVN**
Partial Discharges Measurement in the High Voltage Device

Zásady pro vypracování:

1. Význam částečných výbojů v technické diagnostice.
2. Možnosti vyhledávání a určování intenzity částečných výbojů.
3. Zhodnocení měřicí techniky pro diagnostiku částečných výbojů.
4. Použití koro kamery.


Seznam doporučené odborné literatury:

MACH, Veleslav: *Technika vysokého napětí*. Ostrava: Skriptum 2. přepracované vydání, ES VŠB-TUO, 2006, 114 s. ISBN 80-248-1161-8
MENTLÍK, V. – PIHERA, J. – POLANSKÝ, R. – PROSR, P. – TRNKA, P.: *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha : BEN – technická literatura, 2008. 440 s. ISBN 978-80-7300-232-9
MENTLÍK, Václav: *Dielektrické prvky a systémy*. Praha : BEN – technická literatura, 2006. 240 s. ISBN 80-7300-189-6

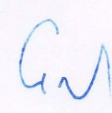
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Veleslav Mach**

Datum zadání: 30.11.2011
Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. V. Machovi a panu F. Ženožičkovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další velice cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Lubomír Kujal, 4. 5. 2012



Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je zpracovat informace týkající se částečných výbojů. Jejich charakteristické vlastnosti, druhy a typy. Popsat jaké jsou jejich projevy, vlivy a působení na okolí. Jednou z důležitých částí této práce je část týkající se rušení, neboť v dnešní době využívající velkého počtu elektroniky se jedná o nezanedbatelnou součást částečných výbojů. Tato práce popisuje způsoby a principy měření částečných výbojů. Je zde také uvedeno, jak se provádí měření na distribučních zařízeních skupiny ČEZ, jaké se využívá měřicí techniky a postupy sloužící k vyhodnocení nalezených závad. K přiblížení problematiky částečných výbojů je zde uvedeno několik závad na provozním zařízení. Na těchto závadách jsou předvedeny měřicí přístroje a je provedeno porovnání mezi některými z nich. Na příslušných fotografiích jsou zachyceny podklady k měření.

Klíčová slova:

částečné výboje, koróna, vnější výboje, povrchové výboje, rušení, degradační účinky, detekce, corocamera, ultrazvukový detektor, vysokofrekvenční detektor, detektor Vyzer II

Abstract:

The aim of this thesis is to process information related to partial discharges. Their characteristics, species and types. Describe what are their symptoms, effects and interaction with the surroundings. One important part of this work is part of the interference, because nowadays using a large number of electronics is a significant part of the partial discharges. This paper describes the principles and methods of measurement of partial discharges. It also shows how the measurements are performed on equipment distribution group CEZ, which is used measuring techniques and procedures used to evaluate the defects found. To approach the issue of partial discharges there are some defects in the operating device. At these defects are illustrated by measuring instruments and the comparison between some of them. On the photographs are included to measure background.

Keywords:

partial discharge, corona, external discharges, surface discharges, noise, degradation effects, detection, corocamera, ultrasonic detector, high frequency detector, detector Vyzer II

Seznam použitých zkratek

CCD	snímač matice foto-detektorů
EMC	elektromagnetická kompatibilita
MCP	více kanálové desky
UV	ultrafialové
č. v.	částečné výboje
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
zvn	zvlášť vysoké napětí
vf	vysokofrekvenční

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Význam částečných výbojů v technické diagnostice	3
2.1.	Druhy částečných výbojů	4
2.2.	Typy částečných výbojů	6
2.3.	Projevy částečných výbojů	11
2.4.	Vnější vlivy ovlivňující přesnost měření	11
2.5.	Degradační účinky částečných výbojů	14
3.	Možnosti vyhledávání a určování intenzity částečných výbojů	17
3.1.	Neelektrické metody měření částečných výbojů	17
3.2.	Elektrické metody měření částečných výbojů	18
3.3.	Způsoby měření částečných výbojů na zařízeních ČEZ	21
3.4.	Měřicí technika používaná v ČEZ	22
4.	Zhodnocení měřicí techniky pro diagnostiku částečných výbojů	27
4.1.	Vyzer II	27
4.2.	Corocamera OFIL UVollé-S	30
4.3.	Porovnání měřicí techniky	32
5.	Závěr	40
6.	Použitá literatura	41
7.	Seznam příloh	42

1. Úvod

Jedním z hlavních zdrojů energie pro domácnosti, ale i pro průmysl, je v dnešní době elektrická energie. Život bez ní si už nedovedeme téměř představit a s rozvojem moderních elektrospotřebičů se stala nepostradatelnou součástí lidských životů. Spotřeba elektrické energie neustále vzrůstá a předpokládá se, že v budoucnu bude růst i nadále pokračovat. Jsou kladeny vysoké nároky na spolehlivost a kvalitu dodávané elektrické energie. Z těchto důvodů se bez přestání hledají nové a účinnější zdroje s nižšími negativními vlivy na životní prostředí a větší užitností daného paliva.

Společně s vývojem využívaných zdrojů dochází také ke zvyšování výkonu, účinnosti a omezování škodlivých vlivů na životní prostředí samotných elektráren. Hlavně v elektrárnách, ve kterých je hlavním zdrojem energie uhlí, neboli v tepelných elektrárnách, dochází k poklesu znečištění ovzduší. Díky tomu, že v minulých letech došlo k odsíření těchto výrobních jednotek, dále přetrvávají problémy s poléťavým prachem.

Neustále se také zvyšuje podíl výroby z obnovitelných zdrojů, u kterých je problematická spolehlivost trvalé dodávky elektrické energie do sítě, a to z důvodu závislosti na povětrnostních podmínkách. Budoucnost se skrývá především v jaderných zdrojích, ale součástí těchto výhod je i problém s uložením vyhořelého paliva. S rostoucími výkony zdrojů elektrické energie vznikají problémy související s přenosy těchto výkonů a s růstem zkratových proudů. Neustále se zvyšuje počet vybudovaných a rekonstruovaných linek přenosové i rozvodné soustavy. S větší hustotou sítí se zlepšují možnosti zálohování jednotlivých odběrných míst a možnost přenášet vyšší výkon. Zvyšuje se i tlak na snižování nákladů, na údržbu zařízení a současně zvyšování životnosti jednotlivých prvků soustavy.

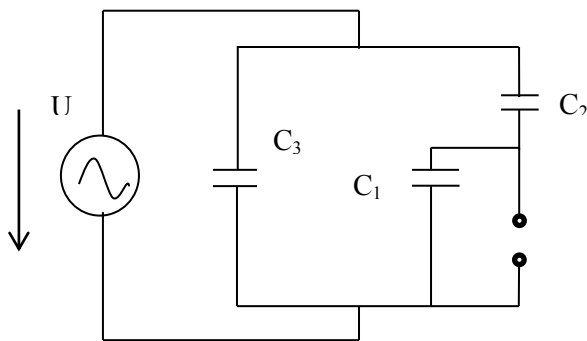
Právě zde se nachází vysoké uplatnění v měření částečných výbojů za provozu zařízení, protože se jedná o měření, při kterém není potřeba vypínat dané zdroje energie, přenosové soustavy, nebo transformovny, celé měření probíhá za stabilního provozu bez přerušení dodávky elektrické energie. Částečné výboje vznikají již při napětí 600 V, ale hlavní projevy jsou na napěťových hladinách 3, 6, 10, 22, 35 kV, dále 110, 220 kV a 400 kV.

Měření částečných výbojů se provádí za pomoci různých metod. Jsou to metody elektrické i neelektrické. V energetice se využívá především metod, při kterých zůstává zařízení v provozu neboli on-line. Důležitým diagnostickým signálem v diagnostice elektrických strojů je detekce přítomnosti elektrických výbojů v pevném, plynném nebo kapalném dielektriku izolačního systému. Částečné výboje negativně ovlivňují vlastnosti izolačních systémů a snižují jejich spolehlivost a životnost. Ovlivňují systémy hlavně svými elektrickými, erozivními, chemickými a tepelnými vlivy. Měření částečných výbojů nám poskytuje včasné varování, čímž je možné omezit riziko průrazu izolačních materiálů, a tak i dobu výpadku daného zařízení.

Diagnostika je soubor činností, především se skládající z různých druhů měření, které mají odhalit a vypovědět, v jakém stavu se měřený objekt nachází za předpokladu určitých znalostí o měřeném objektu a měřicí techniky.

2. Význam částečných výbojů v technické diagnostice

ČSN 60270 popisuje částečné výboje jako elektrické výboje, které přemostují jen částečně izolaci mezi elektrodami, nebo vodiči, které jsou na různých potenciálech. [3] Jedná se o jeden z druhů elektrického výboje vyskytujícího se při provozu elektrických strojů, zařízení a elektrických vedení. Částečné výboje obvykle vznikají důsledkem koncentrace lokálního elektrického namáhání v izolaci, na povrchu izolace a v okolí vodičů, ale mohou také vycházet přímo z jedné z elektrod, nebo mohou probíhat i v dutině izolantu. [1] „Právě pole dutinky v pevném izolantu vysvětluje mechanismus stárnutí dielektrika v důsledku tzv. částečných výbojů. Dutinky, které se v materiálu vyskytují od výroby, ale vznikají také během provozu zařízení, jsou příčinou ztrát v dielektriku. Tyto ionizační ztráty vznikají při určitém napětí a postupně v různých místech“. [8]



Obr. 1: Náhradní schéma dutinky

Rovnice popisující změnu náboje, napětí a energie obr. 1

$$\left(\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3 \right) \cdot U = (C_2 + C_3) \cdot U_v \quad (1)$$

$$\Delta U = U - U_v = \frac{U \cdot C_2^2}{(C_1 + C_2) \cdot (C_2 + C_3)} \quad (2)$$

$$\Delta Q = \Delta U \cdot C = \Delta U \cdot \left(\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3 \right) \quad (3)$$

$$\Delta W = \Delta Q \cdot U \quad (4)$$

C_2 : sériová kapacita

C_3 : zbývající kapacita

U : napětí před výbojem

U_v : napětí po výboji

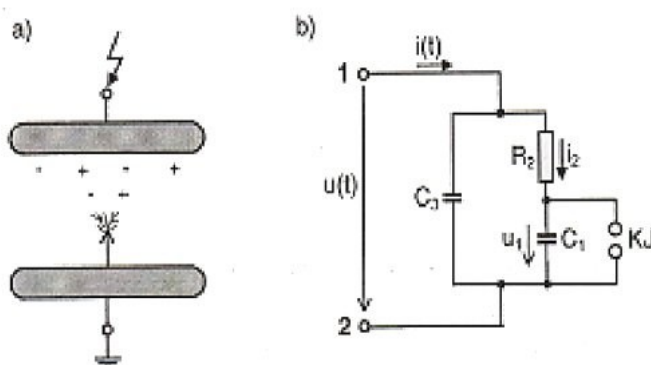
Většinou se tyto výboje objevují jako impulsy, a to s dobou trvání mnohem menší než jedna mikrosekunda. Částečné výboje jsou popisovány různými veličinami, jako je například náboj, rychlost opakování, fázový úhel výskytu impulsu částečného výboje a četnost impulsů. Nejdůležitějšími z nich je zdánlivý náboj, zapalovací a zhášecí napětí. Zdánlivý náboj je vyjádřen v pC (pico-coulombech) a jedná se o základní diagnostický parametr pro měření a vyhodnocení částečných výbojů. [1]

„Zdánlivý náboj impulsu částečného výboje je takový náboj, při jehož mžikovém přivedení na svorky zkoušeného objektu se krátkodobě změní napětí mezi jeho elektrodami na takovou hodnotu, na kterou by se změnilo při částečném výboji. Zdánlivý náboj se nerovná skutečnému náboji, který je přenášen reálným částečným výbojem a nemůže být měřen přímo. Nelze ho měřit přímo z toho důvodu, neboť souvisí s procesy odehrávajícími se uvnitř dielektrika“. [1]

2.1. Druhy částečných výbojů

Základní rozdělení částečných výbojů můžeme provést takto:

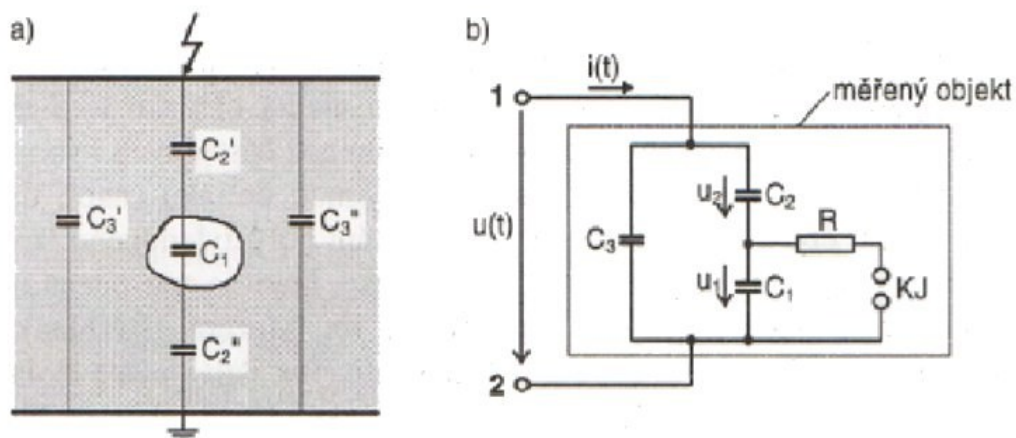
Vnější částečné výboje: Jsou to částečné výboje v plynech, v okolí elektrod malých poloměrů, nebo zakřivení čili ostré hrany a výčnělky, jako např. doutnavé výboje, korónové výboje, Trichelovy impulsy (nitkovité neboli trsové výboje). [2]



Obr. 2: Náhradní schéma pro vnější částečné výboje

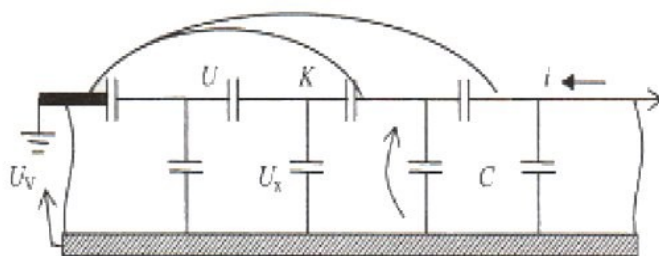
Obrázek 2. Část a. Znázorňuje schéma elektrodového uspořádání hrot-deska popisující vnější č. v. Část b. Uvádí zjednodušené náhradní schéma. C_1 zastupuje kapacitu vzduchového prostoru, a je vždy zkratována, když dojde k č. v. C_3 je paralelní kapacita elektrodového uspořádání. Výboj je nahrazen kulovým jiskřištěm KJ. [2]

Vnitřní částečné výboje: Jsou to částečné výboje v plynech obklopené pevným, či kapalným dielektrikem, jako např. výboje v plyných dutinách v pevném dielektriku. [1]



Obr. 3: Náhradní schéma pro vnitřní částečné výboje jedná se o trojkapacitní model

Povrchové částečné výboje: Jsou to částečné výboje v okolí elektrod a rozhraní pevného a plyného dielektrika, např. klouzavé výboje. [1]



Obr. 4: Náhradní schéma přibližující klouzavé výboje

2.2. Typy částečných výbojů

Typ A

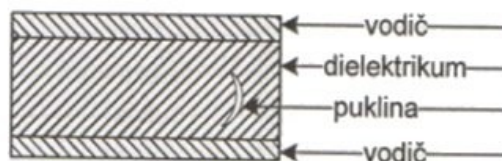
Částečný výboj vzniká, pokud se přiloží vnější napětí na měřený objekt uvnitř vzduchové nehomogenity dielektrika, při tomto přiložení zkušební napětí se musí toto napětí dostat na hodnotu zapalovacího napětí a dochází ke strmému nárůstu výbojové činnosti. Výboje tohoto typu mají přibližně stejnou velikost a vyskytují se zcela v náhodných polohách. Viz obrázek č. 5. [1]



Obr. 5: Výboje v dutině uvnitř dielektrika

Typ B

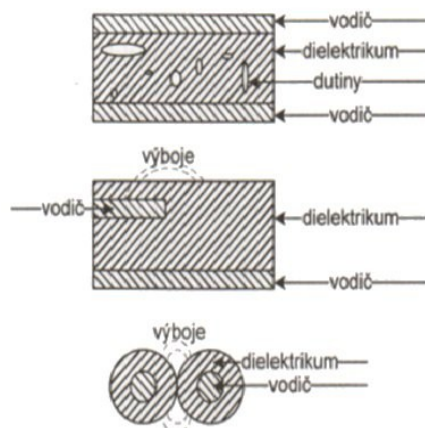
Částečný výboj typu B je výboj v elastomerech, nebo termoplastických izolantech, ve kterých je dutina, nebo nehomogenita ve směru elektrického pole. Tyto výboje mají podobnou odezvu jako typ A. Viz obr. 6. [1]



Obr. 6: Částečný výboj typu B

Typ C

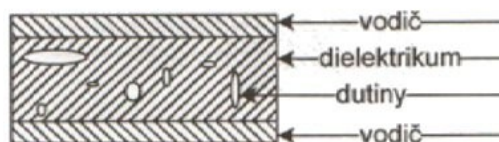
Částečný výboj typu C je vnitřní výboj ve větším množství různě velkých dutin, nebo výboj na povrchu dielektrik v bodě s vysokým gradientem napětí. Případně vnější výboje mezi izolací dotýkajících se vodičů. Projevy jsou podobné předcházejícím typům. Odezvy lze zaznamenat ihned po zapálení. Viz obrázek č. 7. [1]



Obr. 7: Vnitřní výboje v různých dutinách

Typ D

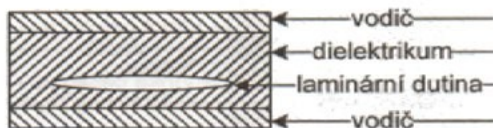
Částečný výboj typu D se nachází v elektrických izolacích vyrobených z pryskyřic, ve kterých se nachází větší množství dutinek s různou velikostí. Tyto dutinky vznikají během výroby a v závislosti na kvalitě výroby. V izolantech jsou vždy přítomny ve větší, nebo menší četnosti. Tyto výboje se podobají výbojům typu C, a to i v závislosti na zkušebním napětí. Viz obrázek č. 8. [1]



Obr. 8: Dutinky izolantu na bázi pryskyřice

Typ E

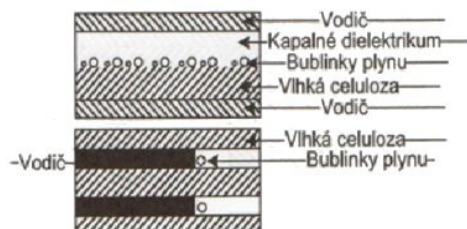
Částečný výboj typu E nalézáme v dielektriku s laminární nehomogenitou. Odezva je podobná jako u výbojů typu C nebo D. Viz obrázek č. 9. [1]



Obr. 9: Dielektrikum s laminární puklinou

Typ F

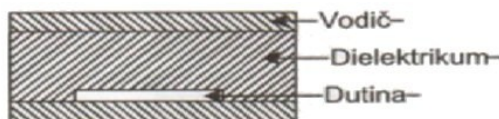
Částečný výboj typu F se projevuje v bublinkách plynu v kapalném dielektriku kondenzátoru dotýkajících se vlhké celulózy. Odezva je podobná odezvám typů C, D, E. Pokud budeme zvyšovat napětí, bude docházet k rychlému nárůstu velikosti výbojů. [1]



Obr. 10: Ukázka výbojů typu F

Typ G

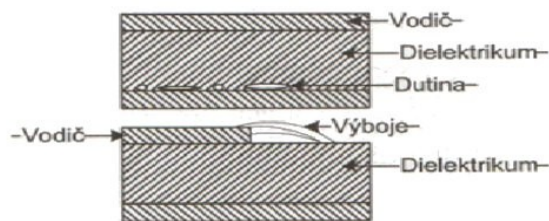
Částečný výboj typu G je charakterizován převážně výboji v dutině mezi vodičem a dielektrikem. Tyto dutinky mohou v dielektriku obsahovat uhlíkové částičky, ale také mohou mít nestejnou povrchovou vodivost, proto je těžké určit, jestli se skutečně jedná o výboje mezi vodičem a dielektrikem. [1]



Obr. 11: Dutina mezi vodičem a dielektrikem

Typ H

Částečný výboj typu H je vnitřní výboj nalézající se v dutinách mezi dielektrikem a vodičem nebo vnější výboje mezi vodičem a povrchem dielektrika. Odezva těchto výbojů je podobná typu G. Viz obrázek č. 12. [1].



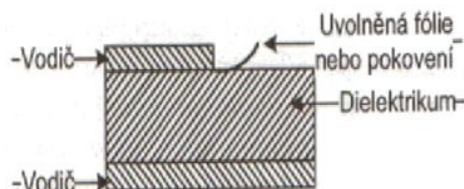
Obr. 12: Ukázka typu H

Typ I

Částečný výboj typu I vzniká v malé vzduchové mezeře mezi vodiči uvnitř diagnostikovaného zařízení. Charakteristickými znaky těchto výbojů jsou pulsy stejné velikosti a stejného počtu, superponované v obou půlvlnách před amplitudou přiloženého napětí. [1]

Typ J

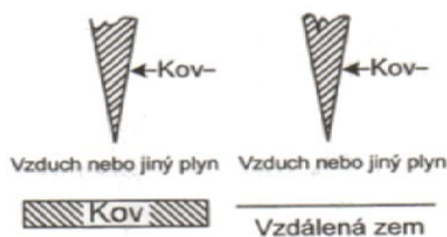
Částečný výboj typu J lze detekovat na uvolněných částech elektrického zařízení, které se vlivem elektrického pole obvykle pohybují. Při detekci těchto výbojů je jejich projev charakterizován dvěma pulsy symetricky umístěnými po obou stranách kladné, nebo záporné amplitudy napájecího napětí. Viz obrázek č. 13. [1]



Obr. 13: Uvolněná část elektrody

Typ K

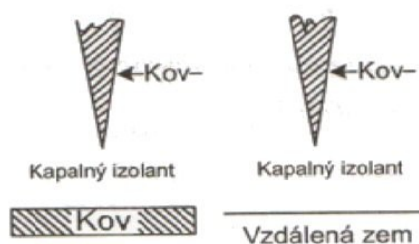
Částečný výboj typu K vzniká, pokud je přítomná vnější koróna v blízkosti ostrých hran zkoumaného objektu. Částečné výboje tohoto typu se projevují jako pulsy umístěné pouze v jedné půlvlně napájecího napětí. Již zmíněné pulsy jsou symetricky rozloženy okolo vrcholu napěťové křivky. Všechny pulsy mají přibližně stejnou amplitudu, a jsou od sebe vzdáleny přibližně o stejný fázový úhel. Viz obrázek č. 14. [1]



Obr. 14: Ukázka typu K

Typ L

Částečný výboj typu L se projevuje jako koróna vznikající na ostrém kovovém hrotu, nebo na hraně, která je umístěna v kapalném izolantu. Pulsy se objevují v obou půlvlnách napájecího napětí, a jsou symetricky rozloženy v blízkosti obou maxim. Viz obrázek č. 15. [1]



Obr. 15: Ukázka typu L

Typ M

Částečný výboj typu M je způsoben nedokonalým spojením kovů s kovy. Tento typ působí chyby při přesném měření, a je jim proto nutné zamezit. Projevují se jako šum symetricky rozložený okolo napěťových nul napájecího napětí. [1]

2.3. Projevy částečných výbojů

Částečné výboje se projevují svými charakteristickými vlastnostmi, a to v závislosti na druhu výboje. Projevy těchto vlastností mohou ovlivňovat negativně okolní prostředí nebo izolační materiál, který se nachází v jejich blízkosti nebo na kterém přímo vznikají. Částečné výboje mohou však být vyvolány i cizími příměsemi v pevných a kapalných dielektrících.

Projevy vnějších částečných výbojů

Vnější částečné výboje zpravidla vznikají v okolí ostrých hran a výčnělku a jsou vyzařovány do okolního prostoru. Je to následek velké koncentrace siločar elektrického pole. Vnější částečné výboje nejsou zpravidla nebezpečné, neboť se jedná hlavně o výboje bodové neboli korónové, při kterých se výboj vyzařuje do vzduchu. Oproti tomu výboje, které vznikají podél pevných rozhraní, šířících se ve vzduchu, jsou nebezpečné. Tyto výboje pronikají podél povrchu izolace a ovlivňují tak její vlastnosti. Hlavní ohrožené součásti elektrického zařízení jsou průchodky, kabelové koncovky a v neposlední řadě vinutí generátoru. Projevují se paralelně s povrchem dielektrika jako klouzavé výboje z důvodu špatné elektrické pevnosti vzduchu v porovnání s pevným dielektrikem. [4]

Projevy vnitřních částečných výbojů

Vnitřní částečné výboje vznikají zejména uvnitř nádob transformátorů, v dutinách izolačních materiálů, podél izolačních rozhraní a v plynech, například u vypínačů, dále ve vnitřních izolacích kabelových souborů (koncovky, spojky). Tyto výboje jsou velice nebezpečné, neboť se obtížněji zjišťují. Výboje vznikající uvnitř nádob v oleji. Projevují se vznikem plynu uvnitř těchto nádob v důsledku dlouhodobého působení částečných výbojů na vinutí přístrojových transformátorů. Tento příklad výbojů si lze také představit jako dvě dielektrická rozhraní, která jsou tvořena kombinací pevné a kapalné izolace.

Podobné projevy výbojů vznikají také u kabelů, s tím rozdílem, že výbojová činnost probíhá mezi pevnými dielektriky. Další možností projevů výbojů jsou výboje v příměsích vyplněných plynem, tyto příměsi vznikají v pevných a kapalných dielektrících, například u dutin a trhlin mohou zásadně snižovat zapalovací napětí. Projev tohoto druhu je srovnatelný s projevem povrchových výbojů ve vzduchu. [4]

2.4. Vnější vlivy ovlivňující přesnost měření

Měření v terénních podmínkách skýtá mnohá úskalí. Hlavním vlivem ovlivňujícím měření je rušení, které se šíří z okolí místa měření a jeho intenzita je různá. Rušení můžeme dělit podle charakteru na harmonické a impulsní. Impulsní jsou krátkodobé signály, které se vyskytují krátkodobě v širokém spektru a znesnadňují měření z důvodů jejich podobností s projevy

částečných výbojů. Harmonické signály vznikají v řídicích nebo usměrňovacích prvcích elektronických přístrojů, kde způsobuje rušení zkreslený průběh napájecího napětí ve frekvenčním spektru. Rušení ovlivňuje každou z měřících metod jinak a každá z metod je vůči němu jinak odolná.

Rušení při použití neelektrických metod

Při použití akustické detekce částečných výbojů jsou v této skupině měření nejčastějším zdrojem rušení úniky stlačeného vzduchu z rozvodu v objektech transformoven vvn/vn, zvn/vvn a vn/vn, a také spínacích stanic, kde je k ovládání odpojovačů, vypínačů používán stlačený vzduch. Dále jsou to spínané zdroje různého výkonu, kde pracovní kmitočet těchto zdrojů je blízko nebo stejný, jako u používaných ultrazvukových detektorů. Rovněž mechanické závady na rotujících prvcích (ventilátory apod.) ztěžují měření. U kamerové detekce jsou ovlivňujícími zdroji různé odrazy slunečního svitu a vložené průhledné přepážky. [7]

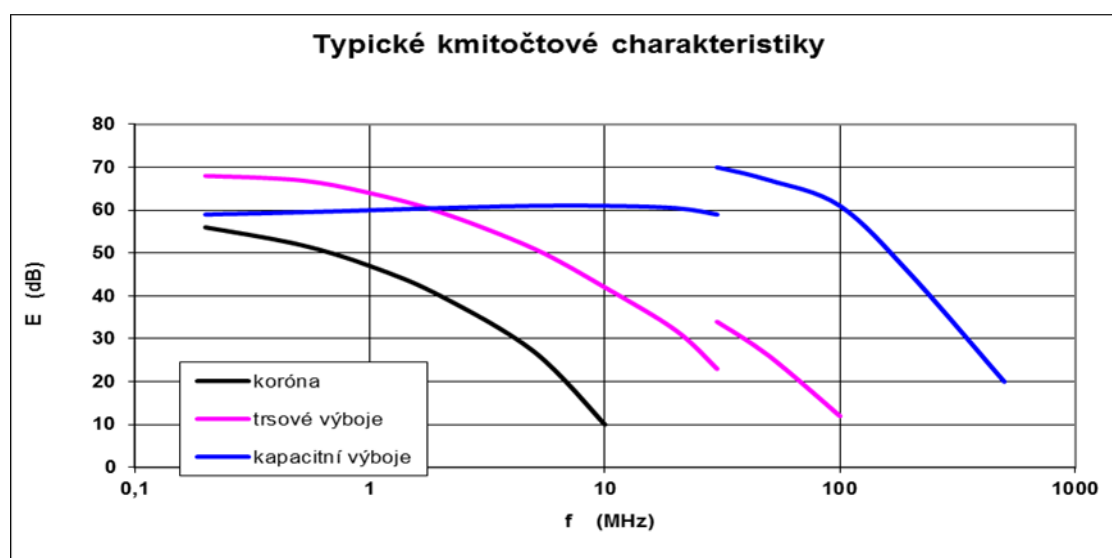
Rušení při použití elektrických metod

V této skupině měření č. v. jsou nejčastějším zdrojem rušení kapacitní výboje. Vysokofrekvenční rušení je způsobováno mnoha subjekty, nejrozšířenějšími z nich jsou kapacitní výboje, dále je to vysokofrekvenční rušení z pulsních zdrojů, frekvenčních měničů a jiných zařízení průmyslové elektroniky, drážní zařízení, radiolokátory. Zdroje těchto rušení velmi znesnadňují měření částečných výbojů a v některých případech při jejich velmi vysoké intenzitě znemožňují tato měření. Tyto rušivé zdroje neovlivňují pouze tato měření, ale mají také velmi nepříznivý vliv na přenos dat, kvalitu rozhlasového a televizního signálu a v neposlední řadě působí rušení také na komunikaci v letecké dopravě, kde může nepříznivě ovlivňovat komunikační systémy letadel. Intenzita rušivých zdrojů je sledována Českým telekomunikačním úřadem a za překročení daných hodnot hrozí při jejich neodstranění správní řízení. Rušení průmyslovou elektronikou je také častým zdrojem rušení a souvisí, s jakým přístupem se jednotlivý výrobci zařízení při výrobě problematikou EMC zabývají. [7]

Rušení způsobené zařízeními vysokého napětí

Rušení působené zdroji na zařízení vn, vvn a zvn znepříjemňuje poslech rozhlasu a příjem televize, ruší telekomunikační spoje, a nezřídka zcela znemožní práci přijímacích zařízení radioamatérů. S mohutným rozvojem přenosů dat jsou často rušena tato zařízení, pracující v pásmu do 300 MHz. Každý zdroj rušení na vedení vn, vvn a zvn zpravidla postihuje současně větší počet posluchačů. Rušivý projev na obrazovce analogového příjmu televize je charakteristický dvěma nebo několika podélnými pásy, složenými z krátkých čar. Pásy na obrazovce buď stojí, nebo se zvolna pohybují. Výskyt několika rušivých pásů svědčí o nezávislých zdrojích, rušení na různých fázových vodičích. Televizní zvukový doprovod je doprovázen charakteristickým šumem a praskotem. Stejně se projevuje rušení i na přijímacích rozhlasu. V datových přenosech dochází v určitém období k výraznému zpomalení přenosu dat, případně je přenos zcela znemožněn. Při rušení digitálního příjmu rozhlasu a televize dochází k zastavení příjmu při překročení meze odolnosti daného přístroje. [7]

Vlastním zdrojem energie je vždy výboj, což je prudká změna napětí a velmi krátký proudový impuls o délce několika nanosekund, který se pak šíří v určitém úseku vedení. Tyto drobné výboje, které funkci vedení neohrožují, jsou na zařízeních vysokého napětí způsobovány třemi odlišnými příčinami, korónou na vodičích a zařízeních, trsovými výboji a výboji na izolátorech a kapacitními výboji. Často se vysokofrekvenční rušení vyskytuje na zařízeních, jako jsou bleskojistky, průchodky, úsečníky a izolátory.



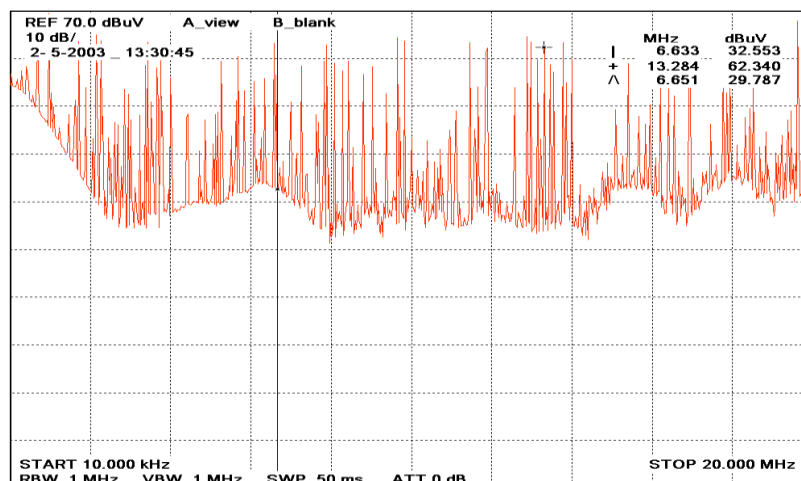
Obr. 16: Typické kmitočtové charakteristiky rušení způsobující vysoké napětí

Bleskojistky

Bleskojistky způsobují rušení kapacitními výboji na některém ze zapalovacích jiskřišť. Při zkorodování jednotlivého jiskřiště se sníží jeho zapalovací napětí a může na něm dojít ke vzniku kapacitních výbojů, sériovou kapacitu tvoří zdravá jiskřiště. [7]

Průchodky

Na průchodkách vn je v místě mezi objímkou pro upevnění do nádoby transformátoru nebo stěny a vnitřním vodičem vysoký gradient pole. Dielektrikum se skládá z porcelánu a vzduchu, nebo případně z porcelánu, oleje a vzduchu. Při poklesu hladiny oleje v průchodce na úroveň víka nádoby mohou vznikat kapacitní výboje na rozhraní olej vzduch. Na stěnových průchodkách vzniká kapacitní rušení při přerušení nebo odchlípnutí vnitřní vrstvy pokovení. Rušení vzniká i v případě špatného spojení mezi vnitřním pokovením a průchozím vodičem. [7]



Obr. 17: Příklad vysokofrekvenčního rušení průchodky v kmitočtovém pásmu 10 kHz až 20 MHz

Odpojovače

Na odpojovači mohou být zdrojem rušení například špatný dotek mezi kontakty odpojovače, zkorodované spoje mezi ovládacími díly, včetně táhla odpojovače a vodičnými objímkami a zkorodované spoje mezi izolátory a konstrukcí. [7]

2.5. Degradací účinky částečných výbojů

Degradací účinky výbojů vznikají v místech, které jsou dlouhodobě namáhané působením částečných výbojů, velký rozdíl je v rychlosti degradace izolačního materiálu, při působení výbojů vnějších a vnitřních. Působení výbojů výrazně zkracuje životnost izolačních materiálů.

Vlivy ovlivňující degradaci

Je důležité brát v úvahu působení částečných výbojů již při konstrukci zařízení, nebo při projektování umístění zařízení, aby bylo vyloučeno vzájemné působení dvou elektromagnetických polí, v případě že se jedná o chybný návrh, ovlivňují se dvě zařízení navzájem, například malé vzdálenosti mezi sebou a důsledkem malé vzduchové mezery probíhá degradací účinek výbojů mezi nimi.

Dalším faktorem, který ovlivňuje tyto účinky, je vlhkost prostředí, ve kterém je dané zařízení provozováno. Při provozování zařízení v prostředí, které je vlhké působí i povrchové výboje velice nepříznivě na izolační materiál, dochází k degradaci na povrchu, kterou jde v počátku ještě zastavit otřením, nebo nakonzervováním silikonovým olejem, ale pokud se překročí určitá hranice, stanou se tyto degradací změny nevratnými a musí se zařízení vyměnit. Pokud

nedojde k včasnému zásahu, hrozí proražení izolace a poruše izolace v důsledku tvorby vodivých cest na povrchu. Částečné výboje právě způsobují chemické a fyzikální změny izolantu. Způsobují to dva děje, narážení na stěnu dutiny částicemi, které dopadají na povrch izolantu, a také jak bylo uvedeno výše, zvýšená vodivost povrchu v důsledku vlhkosti a disociovaných produktů ze vzduchu. [1]



Obr. 18: Příklad degradačních účinků na materiál

Chemické účinky

Chemické účinky působí na izolaci destruktivně. Jejich projevy se objevují v dutinkách izolace. Pokud se v těchto dutinkách nachází kyslík, vytvářejí výboje v dutinkách ozon, který způsobuje intenzivní oxidace. Tato oxidace se projevuje opticky bílými kroužky na izolaci, příkladem můžeme uvést kabelové koncovky. Znázornění tohoto stavu se nachází na obrázku č. 18. V první fázi tohoto výboje lze tuto oxidaci ještě odstranit bez narušení povrchové struktury, v dalších fázích jsou již stavy izolace nevratné. Vyznačují se tím, že i při snaze odstranění povrchové oxidace zůstává materiál izolace změněn například povrchově, nebo barevně. V poslední fázi lze již pozorovat v místě oxidace i černý opal povrchu a při zatemnění lze pozorovat přeskok výbojů, a také je cítit silnou intenzitu ozonu v prostoru. Při chemické degradaci může vznikat i kyseliny, a také se mohou měnit izolační vlastnosti materiálu, a vznikat tak vodivé cesty. [1]

Elektrické účinky

Elektrické účinky působí na dutinu v izolantu, kde v důsledku dlouhodobého působení částečných výbojů vznikne oblouk, který vytvoří vodivé cesty. Při velice vysoké intenzitě se zde může vytvořit až čistý elektrický průraz. Degradační účinky vznikají z důvodů bombardování stěny dutiny ionty a elektrony. Erozivní účinky částečných výbojů vznikají prakticky důsledkem elektrických účinků, které je prohlubují a zvětšují. [1]

Tepelné účinky

Tepelné účinky na izolační materiál vznikají vlivem opakovaného působení částečných výbojů. Při tomto procesu se izolant otepluje, a následkem toho klesá velikost napětí tepelného průrazu. Zdroje výbojů jsou soustředěné v mikroskopických trhlinách izolačního materiálu. Velice záleží na použitém materiálu izolantu a na prostředí jeho provozování. Při této činnosti částečných výbojů vzniká lokální přehřátí v místě zdroje daného dielektrika. Při působení částečných výbojů, například na kabelových koncovkách lze pozorovat za pomoci termokamery lokální oteplení v místě vzniku. Nejvíce odolný materiál proti degradačním účinkům částečných výbojů je porcelán, ale i u něho je při dlouhodobém účinku výbojů snížena životnost a jeho izolační schopnosti. [1]

3. Možnosti vyhledávání a určování intenzity částečných výbojů

Při měření částečných výbojů se zpravidla vyhledává jejich maximální intenzita s výjimkou přesného měření. Pokud je zařízení vn správně navrženo, zkonstruováno a namontováno, jsou tato zařízení prakticky bez výbojů. Vysokofrekvenční rušení ovlivňuje výsledky měření, a v některých případech ho i znemožňuje, příkladem mohou být kapacitní výboje nebo průmyslová elektronika.

Částečné výboje se projevují za pomoci různých veličin, a proto je potřebné provádět měření kombinací různých metod. Využívají se metody elektrické i neelektrické, každá z těchto metod má svoje výhody, ale bohužel i nevýhody. Proto je důležité před každým měřením provést analýzu měřeného objektu, a na tomto základě zvolit nejefektivnější metodu a postup měření, aby byla zaručena předepsaná přesnost a objektivita.

3.1. Neelektrické metody měření částečných výbojů

Těchto metod se využívá na základě charakteristických projevů výbojů, jako jsou optické, chemické a zvukové. K těmto měřením se využívá speciální měřicí technika. Využívá se ultrazvukových detektorů, kamer znázorňujících korónu, nebo termokamery. Neméně důležitou metodou je také chemická detekce. Neelektrické metody se v největší míře využívá k detekci vnějších a povrchových částečných výbojů.

Akustická detekce

Akustická detekce se provádí za pomoci směrových mikrofónů, nebo ultrazvukových detektorů. V některých případech s obzvláště vysokou četností částečných výbojů lze využít i sluchu za předpokladu nízkého šumu z okolí. Částečné výboje produkují mechanické kmity, které se šíří jako akustické vlny do okolí, neboli vzniká takzvaná akustická emise. Tyto emise se šíří přímočaře od zdroje vzniku, ale může docházet i k odrazu těchto emisí, například od stěn v budovách. Akustické detekce se využívá pro lokalizaci výbojů v rozvaděčích s plynou izolací, nebo u transformátorů, kde jsou zařízení ponořena v oleji, snímače se dají instalovat uvnitř, nebo vně nádoby, a lze tak sledovat dění v nádobě. Ultrazvukových detektorů se hojně využívá k lokalizaci výbojů ve vzduchu například povrchovým výbojům nebo koróny. Tato metoda se obzvláště hodí k nalezení místa vzniku částečných výbojů, a lze ji využívat i jako on-line metodu jak pro krátkodobá tak dlouhodobá měření, lze využít například u transformátorů, kde jsou jiné metody ovlivňovány rušením. [2]

Detekce pomocí kamer

Kamerová detekce se provádí pomocí termovizních kamer a corocamer. Termovizní kamera umožňuje zobrazit na displeji povrchovou teplotu měřeného zařízení. Částečné výboje mimo jiné v místě vzniku produkují lokální oteplení, a tak je v některých případech možná lokalizace za pomoci citlivé termokamery. Výboje se projevují oteplením daného místa většinou pouze o jednotky stupňů Celsia.

Corocamery jsou založeny na principu snímání okolí v UV spektru. Corocamer se používá k vyhledávání částečných výbojů v ultrafialovém spektru.

Vjemová detekce

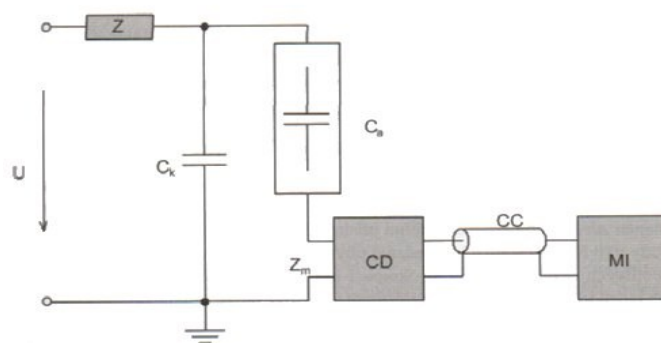
Optickou detekci lze provádět u silné výbojové činnosti za předpokladu, že osoba, která provádí lokalizaci, má již určité zkušenosti s touto problematikou, a tak lze v těchto určitých případech částečné výboje vidět pouhým okem a také je dokumentovat fotoaparátem nebo kamerou. Případy, kdy je možno použít pouhého oka, nastávají v budovách, kde se dá provést zatemnění, místo vzniku výboje se projeví světélkováním.

3.2. Elektrické metody měření částečných výbojů

Rozeznáváme dva základní druhy elektrických metod měření a to přímé elektrické metody a nepřímé. Základním principem měření je měření vysokofrekvenční složky proudových impulsů. Tyto impulsy jsou doprovodným jevem působení částečných výbojů. Snímáním těchto pulsů můžeme vyjádřit jejich intenzitu a převést do grafické podoby. Pro přesnější získání dat je vhodné použít filtry k odfiltrování síťové frekvence 50 Hz. Velikost impulsů se liší podle použitého izolačního materiálu. Časové hodnoty jsou také závislé na materiálu.

Přímé elektrické metody

Při použití globální metody se provádí měření v celém zařízení, a sleduje se tak stav izolace. Toto měření probíhá pomocí měřicí impedance, která je realizována RLC členem a na základě, které se sledují impulsy částečných výbojů. Rozlišují se tři základní typy zapojení. První metoda nám umožňuje měřit uzemněné objekty, nebo objekty s velkou kapacitou. Druhá metoda slouží k měření objektů s možností rozpojení zemního přívodu. Třetí variantou jsou můstková zapojení. [2]



Obr. 19: Zkušební obvod se sériovou snímací impedancí [1].

Úzkopásmové systémy

Úzkopásmové měřicí systémy mají malou nebo střední šířku pásma a to v rozmezí 9 kHz až 30 kHz, nebo 50 kHz až 1 MHz. Jejich úzké frekvenční pásmo se pohybuje v rozmezí 10 kHz, rezonanční frekvence se pohybuje od 100 kHz, až po několik MHz. Nevýhodou je, že nelze rozeznat polaritu pulsů. Výhodou je že umožňují pracovat v úzkém frekvenčním pásmu, a na základě toho jsou schopny vyloučit chybu měření z rušivých zdrojů. Využívá se jich hlavně k orientačnímu měření. [2]

Širokopásmové systémy

Širokopásmové měřicí systémy využívají pro detekci částečných výbojů zařízení s šířkou přenášeného pásma od desítek MHz až po tisíce MHz, čili využívají velkou šířku pásma. Částečné výboje je možné indikovat ve frekvenčním pásmu od 10 kHz až po více jak 1000 MHz. Této skutečnosti je využíváno, jak u přenosných přístrojů, tak i v expertních systémech, vyhodnocujících maximální hodnotu částečných výbojů a dále v získání podkladů pro měření expertních systémů ve frekvenční a časové doméně. [1]

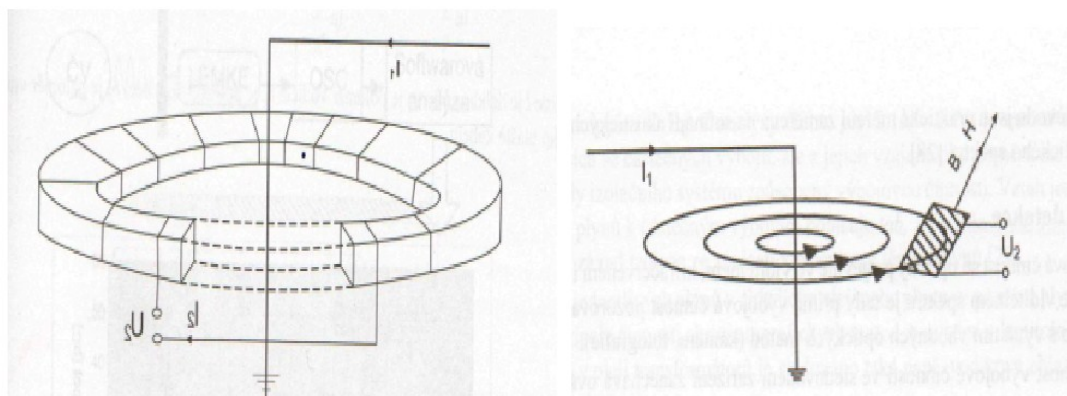
Nepřímé elektrické metody

Kapacitní a induktivní snímače měří na základě charakteristických vlastností částečných výbojů, při kterých vzniká v místě výbojové činnosti vysokofrekvenční energie, která je vyzařována do okolního prostoru. Tuto vyzařovanou energii můžeme rozdělit na dvě složky jedna z nich je elektrická a druhá magnetická. Z tohoto důvodu používáme kapacitní a induktivní snímače. Těchto snímačů se využívá hlavně u orientačních měření a uměření metodou on-line. [2]

Induktivní snímače

Induktivní snímače pracují na principu, při kterém je snímáno elektromagnetické pole, toto je vyzařováno ze zdroje částečných výbojů. Používají se sondy lineárně induktivní a toroidní. U toroidních sond se používají navzájem magneticky svázané obvody, u kterých prochází vodič

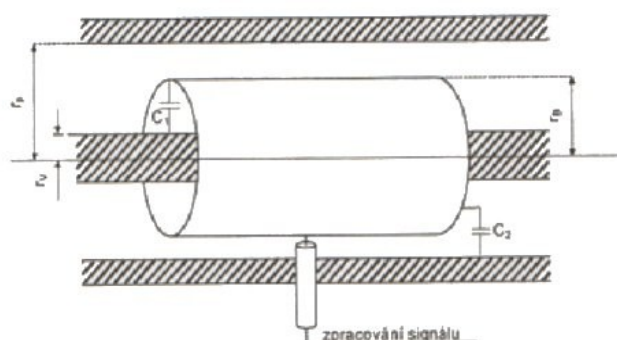
(pracovní uzemnění, kabel) středem toroidu. Toroid pak tvoří primární vinutí elektromagnetického obvodu, vinutí sondy je navinuto na toroidu a tvoří sekundární vinutí. Z důvodů zlepšení odrušovací schopnosti se využívá toroidů s malým počtem závitů. Při měření s lineární sondou se využívá stejného principu, ale s tím rozdílem, že je umístěn ve vlně elektromagnetického pole tak, aby jeho podélná osa byla souhlasně orientována s vektory magnetické indukce a intenzity magnetického pole. [1]



Obr. 20: Vlevo zapojení toroidní induktivní sondy, vpravo zapojení lineární induktivní sondy [2]

Kapacitní snímače

Kapacitní snímače jsou založeny na principu snímání elektrického pole, toto pole se vyzařuje z poruchového místa. Rychlost těchto jevů je velice vysoká a pohybují se v řádu nanosekund. Proto musí být zvoleno správných sond, aby bylo zaručeno jejich zpracování. K realizaci kapacitních sond se většinou používá diferenciální zesilovač, za který je řazen další zesilovač, který umožňuje proměnné zesílení. Za tento zesilovač je připojeno zařízení, které zpracovává analogový nebo digitální signál. Nejvíce se využívá snímačů koaxiálního tvaru. [2]



Obr. 21: Schéma kapacitní sondy [1]

Lemke sonda

Lemke sonda snímá pomocí senzoru okolí. Tyto senzory zachycují elektromagnetické pole vyzařované z místa poruchy izolace, toto pole emitují právě částečné výboje. Za použití induktivní nebo kapacitní sondy jsme schopni tyto výboje zachytit. Sondy jsou připojeny na vstup rychlého diferenciálního zesilovače. Vstup tohoto zesilovače potlačuje vlivy cizích rušivých polí. Používá se širokopásmové zesílení a elektronická integrace k vyhodnocení výbojové aktivity. K vyhodnocení a zaznamenání naměřených dat se využívá osciloskopu. [1]

3.3. Způsoby měření částečných výbojů na zařízeních ČEZ

Měření částečných výbojů probíhá na zařízeních ČEZ Distribuce, jedná se o rozvodny 110/35 kV, 110/22 kV, spínací stanice, a dále distribuční trafostanice. Měření vždy probíhá ve dvou stupních, a to hrubá lokalizace závad a následné přesné určení místa vzniku částečného výboje, po tomto určení následuje rozbor závady v kanceláři, z důvodů určení dopadu na spolehlivost tohoto zařízení v provozních podmínkách. Bylo zjištěno, že četnost vzniku částečných výbojů se odvíjí od stáří zařízení od doby, která uběhla od poslední údržbové činnosti, a místě provozování daného zařízení.

Specifikace měření

Měření částečných výbojů v elektrických zařízeních za provozu se provádí běžně za normálních provozních podmínek, tj. za provozu sítě bez zemního spojení a dalších poruchových stavů, které mohou výrazně ovlivnit symetrii napětí proti zemi. Lokalizace částečných výbojů u elektrických zařízení za provozu je založena na principu měření úrovně elektromagnetického rušení v okolí těchto zařízení, a dále na měření chvění mechanických částí zařízení v ultrazvukovém vlnovém spektru. Frekvenční spektrum měření záleží na konstrukci konkrétního měřicího přístroje a pohybuje se v pásmu 30 kHz ÷ 1000 MHz.

Podle charakteru šíření těchto vln se používají měřicí přístroje se sondami, které pracují na těchto principech:

- induktivní měření elektromagnetického pole v okolí diagnostikovaného zařízení
- kapacitní měření elektrického pole v okolí diagnostikovaného zařízení

- měření chvění mechanických částí zařízení v ultrazvukovém vlnovém spektru se provádí pomocí čidla měřícího na vzdálenost, nebo pomocí snímací izolační tyče přímým dotykem na diagnostikované zařízení

Využití měřících přístrojů dle napětových úrovní

Měření na zařízeních o napětí 110 kV probíhá výhradně za pomoci měřícího přístroje Vyzer II, ale v některých případech se kombinuje s ultrazvukem i LDA 5. Mezi měřené zařízení patří měřící transformátory proudu a napětí, svodiče přepětí, vypínače, kabelové koncovky, odpojovače a průchodky.

Měření na nižších napětových hladinách jako je 35, 22, 10 a 6 kV, se provádí ve stejném rozsahu jako u zařízení vvn. S tím rozdílem, že se nejprve provede kontrola pomocí ultrazvukových detektorů. Využívá se digitálního a analogového. Poté následuje kontrola zařízení Lemke sondou LDP 5 s použitím konvertoru UHF/VHF a připojením kapacitní sondy.

V případě nalezení závady, na měřeném prvku (přístroj, koncovka apod.) a vyloučení, že se nejedná pouze o vysokofrekvenční rušení, provede se přesná lokalizace poruchového místa na zařízení v kombinaci s dalšími přístroji LDA 5/30 a corocamery. V některých obzvláště nejasných případech se využívá i přístroje Vyzer II. Pro všechna tato měření platí, že se jedná o práci pod napětím a práci v blízkosti napětí a je nutné striktně dodržovat bezpečnostní předpisy. Pro snadnější vyhodnocení závad se využívá níže uvedená tabulka, ve které je uvedeno i hodnocení a závažnost poruchového stavu měřeného objektu.

3.4. Měřicí technika používaná v ČEZ

Ultrazvukové detektory

V ČEZ se využívá dvou druhů ultrazvukových detektorů, jedna z těchto variant je digitální detektor LDA 5 a druhou variantou je analogový detektor. Oba dva druhy je vhodné, při vlastním měření kombinovat, protože každý z těchto detektorů má své výhody v určitém vlnovém spektru a také v možnosti zobrazení a archivaci dat. Digitálního ultrazvukového senzoru LDA 5/s a analogového ultrazvukového detektoru se využívá pro kontrolu vn zařízení, jedná se především o kabelové soubory a koncovky, přenosová vedení, měřicí a silové transformátory, a také zapouzdřené rozvaděče (lze měřit pouze do jisté míry). Tato metoda je výhodnější hlavně v provozních podmínkách oproti elektrické detekci z důvodu velmi dobré odolnosti proti elektromagnetickému rušení. Hlavní princip fungování ultrazvukového detektoru je zachycení a zpracování zvukových tlakových vln, které vytvářejí částečné výboje na zařízení.



Obr. 21: Analogový ultrazvukový detektor Tettex

LDA 5/s a ultrazvukový detektor umožňuje provádět bezkontaktní i kontaktní měření. Pro bezkontaktní měření se používá ultrazvukový detektor s namontovaným parabolickým reflektorem, ve kterém se nachází průhled, pomocí kterého se dá zaměřit přesný bod vzniku částečného výboje, s přístrojem lze měřit až do vzdálenosti cca 20m. [4]

Kontaktního měření se využívá, hlavně k vyhledávání částečných výbojů uvnitř zařízení, zvláště pak u transformátoru a zapouzdřených rozvodů, k tomuto měření se používá kontaktního ultrazvukového detektoru vybaveného hrotem. Pokud je měření prováděno LDA 5/s je vhodné při tomto měření použít i jiné měřicí přístroje, vhodná je kombinace například s LDP 5 a využít tak výstupu na obou přístrojích k připojení dvoukanalového osciloskopu k zobrazení signálů, a zamezit tak chybnému vyhodnocení.

Je dobré provádět měření na více místech a z více úhlů. V případě lokalizace částečného výboje, je ve sluchátkách slyšet praskající zvuk, který se zesiluje přibližováním se ke zdroji částečných výbojů. Tohoto zesílení se dosahuje snižováním vzdálenosti mezi zdrojem č. v. a detektorem, nebo přesnějším zaměřováním detektoru na zdroj. Přístroj LDA 5/s je osazen diodou, která se rozsvítí při nálezů zdroje částečných výbojů. Je-li potřeba měnit citlivost měřicího přístroje z důvodů přesného nalezení zdroje částečných výbojů, jsou oba přístroje vybaveny potenciometrem, a je možno dle potřeby měnit intenzitu snímání. V případě měření s LDA 5/s v místě s vysokou intenzitou rušení může dojít k zahlcení vstupu přístroje a znemožnit tak lokalizaci, v takovém případě je výhodnější použít ultrazvukový detektor Tettex. Ultrazvukový detektor Tettex má oproti LDA 5/s na čelní straně analogový ručkový měřič, s kterým lze pomocí sluchátek porovnávat správnost zaměření a velikost intenzity výbojů. [4]

Parametry přístroje: LDA 5

Měřicí kmitočet: přibližně 40 kHz

Zesílení signálu: > 80 dB

Provozní napětí: 7,5 - 9,5 V

Odběr proudu: < 5 mA

Sonda pro bezkontaktní měření LDA-5/30

Sonda LDA-5/30 je určena k měření kabelových koncovek, proudových a napětových měřicích transformátorů a dalších podobných zařízení, jsou-li v provozu. Je velice výhodná k měření za provozu z důvodů umístění měřicího senzoru na izolované tyči. Umožňuje tak spolehlivou rychlou a přesnou lokalizaci poruchového místa na měřeném zařízení. Je možno měnit sondy a to kapacitní, nebo induktivní. Tyto sondy se mění na vrchní části senzoru. Stav zařízení nám ukazují diody na spodní části senzoru, podle počtu jejich svícení určujeme intenzitu a zdroj částečných výbojů a jsme schopni lokalizovat závadu. Stav nabytí nám prozrazuje dioda po zapnutí senzoru, nabito zelená a vybito žlutá. Lze měnit též citlivost senzoru, a to pomocí pákového přepínače, nebo externího útlumového článku. Pro archivaci dat lze využít výstupu optického převodníku k připojení osciloskopu, nebo jiných prostředků sloužících k archivaci a vyhodnocení naměřených dat. [4]



Obr. 22: Přístroj LDA 5/30 při praktickém měření

Diferenciální sonda Lemke LDP-5

Sonda Lemke je lehký přenosný přístroj. LDP-5 můžeme snadno ovládat, ovládací prvky jsou přehledně rozmístěny. Tohoto přístroje se využívá k měření v provozních i laboratorních podmínkách. V přední části přístroje jsou umístěny dva BNC konektory sloužící k připojení měřicích sond. Mezi těmito konektory se také nachází konektor sloužící k připojení konvertoru

VHF/UHF. V zadní části přístroje se nachází analogový ručkový ukazatel orientačních hodnot částečných výbojů. Dále se zde nachází signalizační led diody a tři ladící otočné potenciometry. Na bocích jsou umístěny kryté sloty pro napájecí akumulátory. Ve spodní části je umístěn šroubový spoj k připojení rukojeti a další BNC konektory sloužící k propojení přístroje a osciloskopu nebo vyhodnocovacího počítače. [4]

Způsob činnosti

Princip funkce LDP-5 je založen na širokopásmovém zesílení impulsů částečných výbojů. Na toto zesílení navazuje elektronická integrace. Této integrace se využívá k vyhodnocení parametrů částečných výbojů. Při měření jsou hodnoty výbojů převáděny na analogový ručkový ukazatel a je nutno zvolit podle intenzity měřící rozsah a také v případě rušení musí být vhodně nastaveno odrušení.

Další možnost zpracování částečných výbojů umožňuje propojení s osciloskopem nebo počítačem, k propojení se využívá optických kabelů a vodičů s BNC konektory. V osciloskopu nebo v počítači můžeme provést záznam výboje, následně ho zpracovat a vyhodnotit s tou výhodou, že můžeme provést vyloučení rušení. Optický kabel má jednu nezanedbatelnou výhodu oproti kabelu s BNC konektory a to že vylučuje přenos rušivých signálů z technologie.

K měření se používá kapacitních snímačů, induktivních snímačů, dotykových hrotů nebo měřící impedancí. Použití dvou kapacitních senzorů se využívá k lokalizaci místa poruchy u špatně odstíněných zkoušených objektů, jako příklad uveďme kabelové koncovky. Jeden z těchto senzorů je spojen s invertujícím vstupem měřícího přístroje a druhý s neinvertujícím. Lokalizace je podporována přídatným výstupem signálu a tento signál umožňuje identifikaci polarity impulsů částečných výbojů. K přístroji LDP-5 lze připojit také digitální akustické přístroje a podpořit tak indikaci výbojové aktivity. Pro dosažení přesnější lokalizace výbojové aktivity a rozlišení četnosti výbojů a také možnosti vyloučení rušivého signálu se využívá připojení sluchátek. Pokud je lokalizován velmi silný signál dochází k signalizaci problikáváním červené diody. [4]

Parametry přístroje:LDP-5

Součinitel měřícího rozsahu: 1, 2, 5, 10

Jemná regulace: 1:5

Tvar impulsů: Trojúhelníkový kladný

Amplituda: 4 V

Doba náběhu: max. 2 μ s

Trvání: 50 μ s

Hledání rušení: max. 0,2 μ s

Kmitočet opakování impulsů max. 100 kHz

Odstup dvojitého impulsu min. 2 μ s



Obr. 23: Ukázka přístroje LDP-5 s kapacitní sondou s konvertorem UHF/VHF

4. Zhodnocení měřicí techniky pro diagnostiku částečných výbojů

4.1. Vyzer II

S tímto přístrojem lze provádět detekci částečných výbojů za provozu měřených prvků rozvodných zařízení. Tato detekce se provádí na zařízeních od 6 kV až po 420 kV, ale v některých případech a za dodržení určitých pravidel je možno provádět detekci už na zařízeních od 6 kV. Detekci částečných výbojů s tímto přístrojem můžeme provádět u zařízení, která nejsou úplně elektromagneticky stíněná a to buď kovovým pláštěm, nebo nádobou. Toto omezení je zapříčiněno detekčními schopnostmi detektoru. [6]

Detektor je navržen, aby byl citlivý na vyzařované vysokofrekvenční pole. Detekční schopnost detektoru je ve frekvenčním pásmu desítek až stovek MHz. S přístrojem se proto nedá indikovat výbojová činnost uvnitř výkonových transformátorů a dále také u kompenzačních tlumivek s jádrem, které je umístěno v kovové nádobě, protože zde je citlivost velmi nízká. Pokud chceme indikovat částečné výboje na kabelech, můžeme tento přístroj použít pouze k detekci kabelových koncovek a přístupných kabelových spojek. [6]

Zapouzdrěné části se dají měřit jen v určitých částech, a to na izolačních předělech a průchodkách. Běžně se s tímto přístrojem měří části transformoven, jako jsou měřicí transformátory proudu i napětí, a to jak induktivní, tak i kapacitní. Dále lze měřit bleskojistky, omezovače, vazební kondenzátory, reaktory, kompenzační tlumivky, ale pouze bez jádra, vypínače, stěnové průchodky a vnější izolační části zařízení. Při měření na kabelových koncovkách a zapouzdrěných částech je vhodné tuto detekci kombinovat i s jinými metodami, aby bylo zabráněno záměně výbojové činnosti. Například v kabelové koncovce s výboji v kabelu, jejichž charakteristické vlastnosti se mohou šířit od místa vzniku, směrem ke kabelové koncovce. [6]

Výhodou tohoto detektoru je velmi dobrá schopnost lokalizovat místo vzniku částečných výbojů, ale jeho přesnost závisí na vysokofrekvenční elektromagnetické otevřenosti nebo uzavřenosti měřeného prvku elektrického zařízení. Záleží, jak silnou má dané zařízení izolaci a jak jsou masivní stínící kovové pláště na něm umístěné. Protože je tím velmi ovlivněna schopnost průchodu vysokofrekvenčního elektromagnetického záření. [6]

Pro změnu citlivosti detektoru se používá výměnných antén majících různé délky, přičemž největší je nejcitlivější a nejmenší má citlivost nejnižší. Používá se cca 8 velikostních druhů antén, jejich citlivost se pohybuje od cca 20 pC u největší až po 1500 pC u nejmenší. [6]

Popis přístroje

Tento přístroj se skládá ze dvou částí, a to detektoru a vyhodnocovače. Jako součást vyhodnocovače byl zabudován i monitor. Při měření se nachází detektor na vrchní části izolační tyče. Vyhodnocovač je umístěn na spodní části tyče, tyto dvě části jsou mezi sebou spojeny pomocí optického kabelu. Detektor Vyzer II byl navržen, aby za běžných teplotních podmínek vydržel plnit svou funkci minimálně 8 hodin bez potřeby dobíjet vnitřní akumulátory. Při snížení teploty je detektor schopen bez omezení své funkčnosti pracovat až do 0 stupňů celsia. Blokové schéma funkce přístroje je umístěno níže. [6]

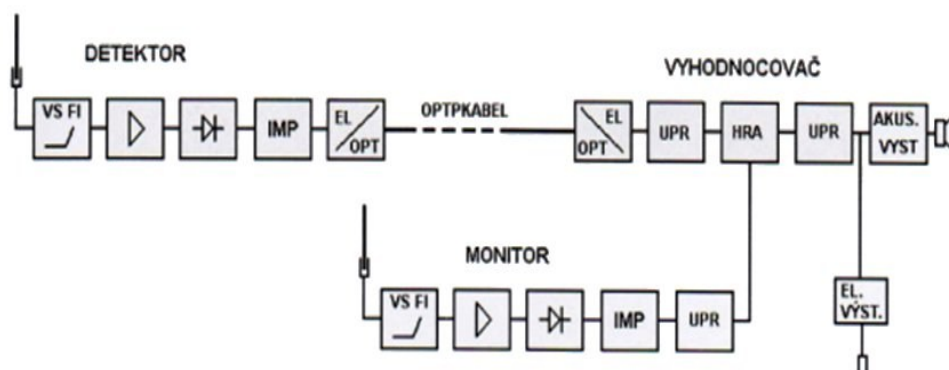
Způsob činnosti

Na vstupu detektoru se nachází anténní pahýl, jeho signál je následně převeden frekvenční propust potlačující nízké kmitočty pod 50 MHz. Vysokofrekvenční signál se zesiluje v zesilovači a pak je usměrněn v detektoru s rychlou časovou konstantou. Dále pokračuje signál k impedančnímu přizpůsobení a následně je tento signál převáděn v převodníku na optický signál. Od tohoto bloku je signál přenášen po optickém kabelu do bloku, kde je signál převáděn zpět na elektrický. [6]

Díky tomuto přenosu je signál přiveden do spodní části neboli vyhodnocovače. UPR blok nám upraví časový průběh signálu a ten se přivádí na hradlo HRA. Hradlo je řízeno upraveným signálem z monitoru. Monitor má téměř stejné obvodové řešení jako detektor a je obsažen ve vyhodnocovači, kde slouží ke snímání rušivých signálů z okolí. Z tohoto důvodu by na vstupu monitoru mělo být vždy použito většího pahýlu než na vstupu detektoru. [6]

Pokud monitor zaznamená rušivý signál, uzavře vstup vyhodnocovače, tím zablokuje signál z detektoru a dojde k jeho odrušení. Tím je zaručeno propuštění pouze měřeného signálu. Posléze je signál přiveden na reproduktor, z kterého je výstupem zvuk charakterizující částečný výboj. Před reproduktorem se ještě nachází odbočka na elektrický výstup, který je zakončen BNC konektorem. [6]

Tento konektor se používá k připojení přístrojů sloužících k dalšímu zpracování, jedná se například o osciloskop nebo záznamové zařízení. Optokabelem jsou z detektoru do vyhodnocovače přenášeny velmi úzké impulsy pohybující se kolem 500 ns. Pokud je snímán signál částečného výboje z měřeného zařízení, vybudí se pouze detektor na horním konci tyče, nikoli detektor umístěný na spodní části. [6]



Obr. 24: Blokové schéma detektoru Vyzer II

Spodní detektor je umístěn zhruba 4 m pod vrchním a celková délka tyče je 6 m. Bránu propusti signálu lze plynule regulovat pomocí otočného knoflíku nacházejícího se na čelní straně spodního dílu. [6]

Při připojení osciloskopu lze sledovat změnu frekvenční charakteristiky při otevírání a zavírání propusti. Při běžném používání přístroje je výstupem akustický signál, u tohoto výstupu je patrná funkce brány při jeho otevírání a zavíráním změnou výstupního akustického signálu. Prakticky se této brány využívá při měření na zařízení, kdy dochází k zarušení detektoru, provede se zesílení tedy přivření brány, která následně zablokuje rušivé signály, ale naopak signály částečných výbojů jsou propouštěny. [6]

Tabulka: citlivostí jednotlivých anténních pahýlů

Zařízení	Prahová citlivost (pC)
Venkovní izolace	20
Stěnové průchodky	30-50
Bleskojistky, omezovače	30-50
Vypínače	50-80
Suché reaktory	50-100
Suché kompenzační tlumivky	50-200
Kabelové koncovky	50-300
Přístrojové transformátory proudu	200-500
PTN- induktivní	400-700
PTN- kapacitní	500-1000
Vazební kondenzátory	800-1500



Obr. 25: Měření v terénu s přístrojem Vyzer II vlevo a vrchní sonda přístroje Vyzer II vpravo

4.2. Corocamera OFIL UVollé-S

Princip funkce

Corocamery jsou založeny na principu optického snímání okolí v UV spektru. Zařízení produkující částečné výboje zároveň vyzařuje do okolí vizuální emisi, která se projevuje v UV spektru. Spektrum UV je pouze malou částí spektra, pro lidské oko je neviditelné. Obrázek přibližující UV spektrum je znázorněn níže č. 27. UV spektrum se skládá ze tří částí A, B a C, rozsah celého spektra se pohybuje v rozmezí od 230 do 405 nm. Corocamery právě pracují ve spektru UVC, jejich schopnost rozlišení se odvíjí od použitého filtru, tyto filtry se pohybují v rozmezí od 240 do 280 nm. Optimální filtry odrušující sluneční radiaci se pohybují ve spektru 200 až 280 nm. [5]

Corocamery můžeme rozdělit mezi denní a noční. Noční znázorňují na displeji pouze UV obraz, kdežto denní jsou založeny na principu překrývání obrazů a toho se dosahuje tak, že na viditelný obraz objektu je přiložen UV obraz. Díky tomuto principu je na barevném displeji vidět měřený objekt i s místem vzniku částečného výboje. [5]

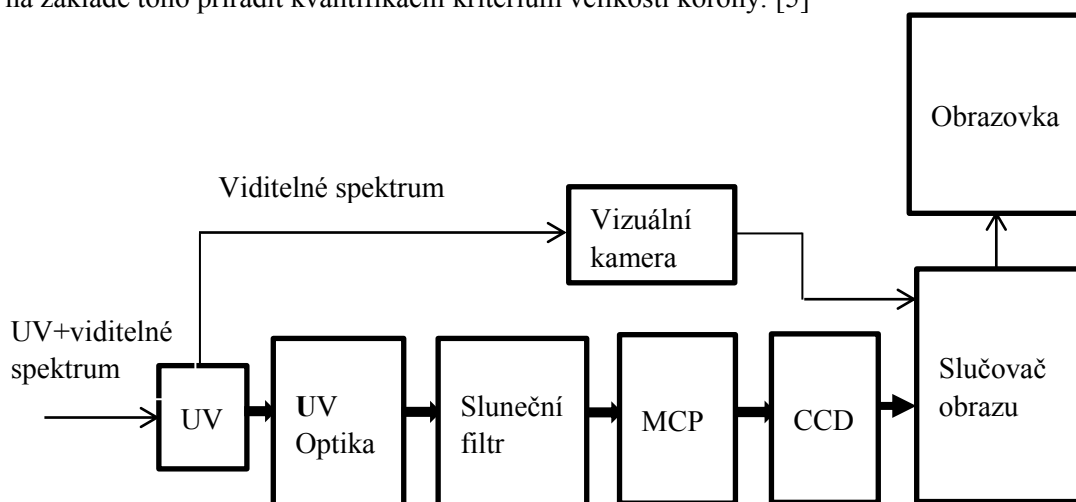
Denní kamera dále umožňuje také výběr ze tří zobrazení, a ty jsou UV zobrazení, viditelné anebo kombinované. Jak popisuje obrázek č. 26 je zřejmé, že se jedná o dva oddělené systémy.

Na vstup corocamery je přivedeno celé spektrum, na tomto článku se provede rozdělení do dvou systémů nebo můžeme tyto systémy pojmenovat jako kanály. První systém je viditelné spektrum a převádí se přímo na obrazovku. Druhý systém zpracovává ultrafialové záření. Jako první člen, který zpracovává záření je nasazena UV optika. Následně pokračuje signál do odrušovacích slunečních filtrů, aby bylo zabráněno rušení od slunečního záření. Dále dochází k zesílení odrušeného obrazu. Zesilovač obrazu se skládá z foto katody, více kanálové desky neboli MCP a fosforové vrstvy. Funkce foto katody probíhá na základě fotoelektrického jevu, při kterém jsou elektrony emitovány z energie vzniklé po absorpci elektromagnetické energie fotonu. MCP provádí urychlení vstupního elektronu na několik urychlených výstupních elektronů, zisk z jednoho elektronu může být až tisíc elektronů. MCP tvoří kovem potažená vláknitá pole. Pro zvýšení zisku se používají vícekanálové desky. Fosforová vrstva převádí propustným bodem elektrony na fotony. CCD je snímač matice foto-detektorů, který se velmi často používá u zobrazovacích systémů. Každý pixel převádí fotony na elektrony. [5]

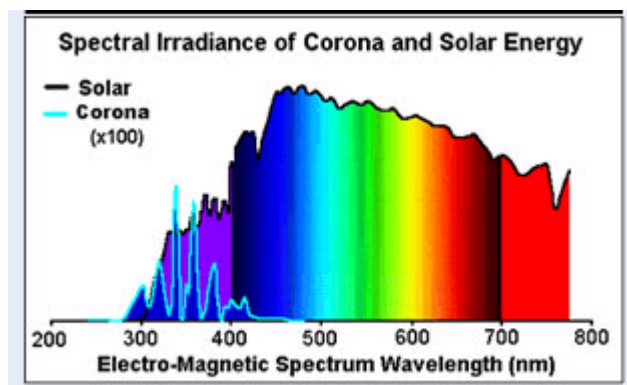
Možnosti corocamer

Většina corocamer umožňuje ukládat obrázky do paměti nebo pořizovat i video sekvence. Nalezené závady se ukládají na vyjimatelnou SD kartu. U corocamery UVollé-S je použito filtru s rozlišitelností spektra 250 až 280 nm a minimální citlivostí 2,7 pC na 10 m délky. Díky modernímu provedení a nízké váze lze tuto kameru snadno ovládat i za pomoci pouze jedné ruky. Funkce jsou zobrazovány na LCD obrazovce, ovládání probíhá joystickem, kterým je přepínání mezi funkcemi značně snadné. Barvu korónové činnosti si obsluha může sama měnit podle okolí a charakteru měřeného prvku. [5]

Kamera umožňuje přesné a věrné zobrazení poruchového místa na základě kvalitní čočky a použití zaslepovacích filtrů, díky kterým je úplně odrušeno sluneční záření za denního používání. Vybavení kamery umožňuje spočítat a zobrazit úroveň UV jevů za daný časový úsek a na základě toho přiřadit kvantifikační kritérium velikosti koróny. [5]



Obr. 26: Blokové schéma corocamery



Obr. 27: Znáznornění viditelného a UV spektra

Displej corocamery má rozlišení 240x320 pixelu, což také velice kladně přispívá k dobré lokalizaci závady a částečně i k před vyhodnocení v terénu. Minimální citlivost u viditelného spektra má kamera 0,1 luxu. Kameru můžeme používat téměř na neomezenou vzdálenost, ale jediné omezení má v nejmenší možné vzdálenosti, kterou kamera má 0,5m od měřeného objektu. [5]

Technické údaje corocamery:

Minimální RIV úroveň: 22dB μ V na 10m
 Záběry FOV: 4,8° x 6,4° (délka x výška)
 Překryv UV/vid. obrazu: přesnost lepší než 1 miliradian
 Velikost displeje: 3,5 palce
 Kapacita obrázků: 1000
 Napájení: 4xAA baterie
 Životnost baterií: 3 hodiny
 Jmenovitá spotřeba: 5 W
 Provozní teplota: -20°C až + 55°C

4.3. Porovnání měřicí techniky

Táhla odpojovače

Na obrázku číslo 28 je fotka odpínače s vn pojistkami. Nadproud v obvodu je jištěn pojistkami, které při působení vybaví táhla ovládání odpínače. Pojistka při poruše (přerušení) vybaví signální terčík a spínačem pákového ústrojí, a to přenesse podnět na táhlo vypnutí a dojde k rozepnutí obvodu.

V případě dlouhodobého působení částečných výbojů na táhlo odpojovače hrozí vznik nevratných degradačních stavů materiálu táhla. Dlouhodobým působením č. v. může dojít k vytvoření vodivé cesty na táhle a následně ke vzniku oblouku se zkratem s nevratným poškozením odpínače. Narušením struktury táhla mimo jiné hrozí zeslabení materiálu, a to může zapříčinit, že v případě poruchy na zařízení dojde ke zlomení táhla, a tak i k nevypnutí odpínače, což může způsobit velké škody, jak na zařízení, tak na objektu.

Další možností působení těchto degradačních vlivů je, že může dojít až k přerušení táhel jen působením částečných výbojů, ale toto nebezpečí hrozí až za delší časový úsek, což při prováděných pravidelných diagnostických měření hrozí jen minimálně.



Obr. 28: Měřené zařízení

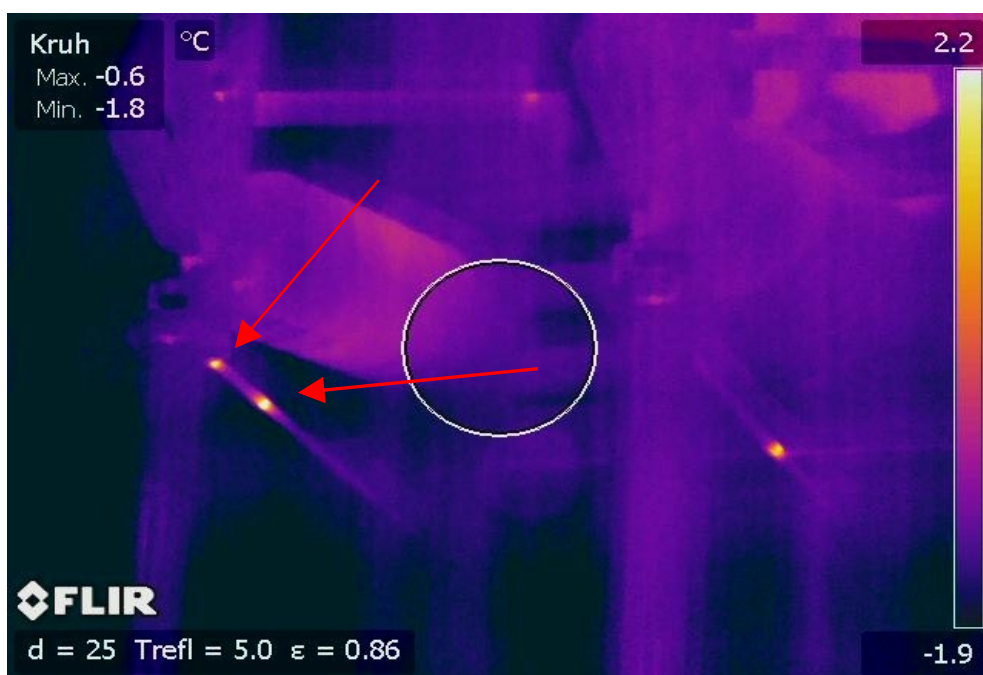
Nález částečných výbojů na táhle odpojovače byl pomocí ultrazvukového detektoru, pro přesnější lokalizaci bylo využito corocamery a přístroje Vyzer. Na corocameře byla okamžitě zřetelná výbojová aktivita v místě vzniku, která měla nepřetržitý charakter s vysokou intenzitou na táhle. Po nastavení corocamery na maximální citlivost se zjistilo, že intenzita výbojů v tomto místě byla 7400 jevů za minutu. Jedná o povrchový jev, který způsobuje svodový proud na povrchu táhla. Pokud je zařízení v pořádku, nejsou zde zjištěny částečné výboje. V tomto případě můžeme rozhodnout jednoznačně o tom, že se jedná o kritickou závadu. Činnost výbojů se bude zvyšovat s postupem času, až dojde k poruše, pokud nebude zajištěna oprava zařízení.

Na ověření funkce corocamery bylo před objektiv umístěno čiré okenní sklo. Při tomto pokusu bylo ověřeno, že sklo je pro kameru neprůhledné, protože v okamžiku přiložení skla před objektiv nebyla indikována výbojová činnost. Na obrazovce corocamery nebyl záznam č. v. Na snímku z corocamery číslo 29 je záběr táhla s přiblížením částečných výbojů na jednotlivých

částech táhla. Pro ověření diagnostických metod bylo provedeno i termovizní měření, což přispělo k potvrzení správnosti použitých metod a názorně prokázalo, že teplota v místě výbojové činnosti je o několik stupňů zvýšena díky jejich působení. Snímek z termokamery vidíme na obrázku č. 30.



Obr. 29: Celkový pohled corocamerou na táhla odpínače s indikací místa závady

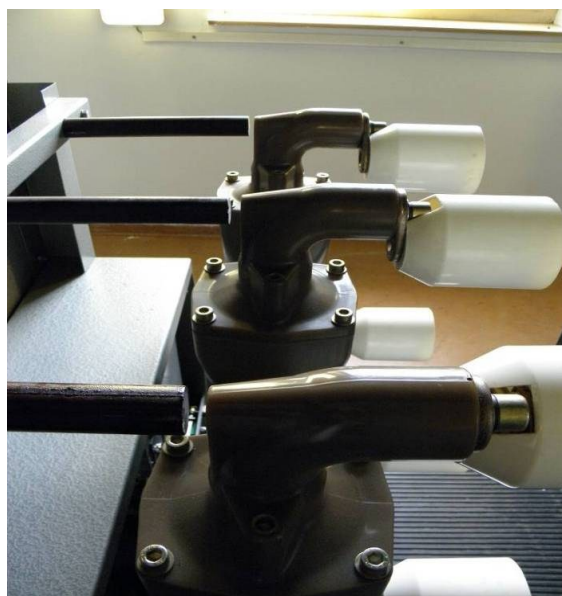


Obr. 30: Snímek z termokamery

Dále měření probíhalo s přístrojem Vyzer. Po složení a aktivaci přístroje s využitím měřicí antény střední velikosti se začala výbojová aktivita již ve vzdálenosti cca 1 metru s přibližováním k místu vzniku stupňovat, až byla tak silná, že byl přístroj přehlacen. Pro další měření bylo využito kratších antén. Snížení proběhlo vždy po zahlcení přístroje, a to o jeden délkový stupeň anténního pahýlu, až došlo k výběru vhodného pahýlu. S touto anténou došlo k přesné lokalizaci vzniku výboje, nedocházelo již při přibližování k zahlcení a bylo možno snímat na dotčené části zařízení částečné výboje. Snímání probíhalo posouváním vrchního snímače ve vzdálenosti cca 10 cm nad táhlem. Při tomto postupu byl nalezen zdroj výbojové aktivity a při porovnání se snímky z corocamery bylo zjištěno, že se tyto dva přístroje shodují s lokalizací místa výbojové činnosti.

Opěrný prvek komory vypínače

Při měření v blokové rozvodně 22 kV byla zjištěna pomocí ultrazvukového detektoru přítomnost částečných výbojů. Došlo tedy k otevření předních i zadních dveří jednotlivých kobek. Následovala přesnější lokalizace výbojové aktivity. Nález byl lokalizován v jedné z kobek na vypínači typu VF, v kterém je zhašecím médiem SF₆. Zaměření proběhlo z čelní strany pohledu, a to průhledem mezi tímto vypínačem a vlastní technologií rozvodny. K určení přesného místa vzniku a intenzity částečných výbojů bylo použito corocamery. Na obrázku číslo 31 a 32 je znázorněn výše zmíněný vypínač.

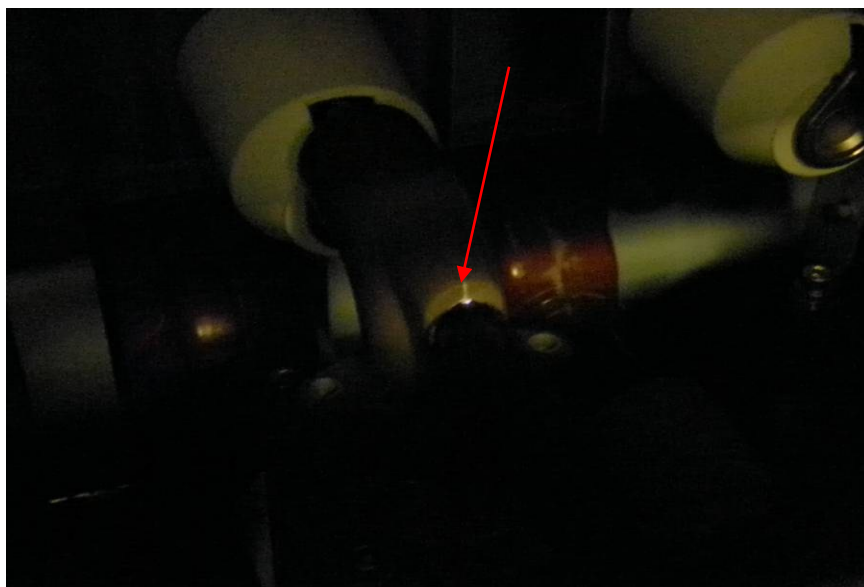


Obr. 31: Měřený prvek s nálezem



Obr. 32: Detailní zobrazení nálezu

Při tomto měření bylo vyzkoušeno i optické detekce. Provedlo se tak, že se celá místnost, ve které je umístěna zapouzdřená rozvodna, zatemnila. Pak proběhlo sledování v místě nálezů ultrazvuku. Po chvíli sledování a navyknutí očí na tmou, byla patrná aktivita částečných výbojů. Projevem této aktivity byla světélkující vizuální emise modrobílé barvy. Snímek této emise vidíme na obrázku číslo 33, pro zpřesnění místa aktivity je v obrázku umístěna šipka.



Obr. 33: Snímek vizuální emise

Částečné výboje na podpěře vznikly ve vzduchové mezeře izolační opěry a pólem vypínače. V tomto případě je příčinou špatná montáž, neboť pokud jsou podpěry správně namontovány, neměla by být mezi komorou a podpěrrou žádná mezera. Na obrázku číslo 32 můžeme vidět jasné stopy oxidace povrchu materiálu. Při bližším ohledání míst s oxidací bylo zjištěno, že v některých místech došlo již k úplné degradaci povrchu epoxidu a průniku doprovodných vlivů částečných výbojů pod povrch.

Měřením pomocí corocamery byla zjištěna výbojová činnost nepřetržitého charakteru silné intenzity na konci opěrné části, čímž se potvrdily ostatní měřicí postupy. V tomto stádiu se jedná už o kritickou poruchu a je jí nutno okamžitě řešit. Četnost výbojů se bude s časem stupňovat a dojde tak ke zhoršení stavu izolace, protože se jedná o kritickou součást systému, která se nachází na kritickém místě a kritickém materiálu. Byla doporučena výměna izolačních opěr za podpěrné izolátory z plastu v nejbližším možném termínu podle provozních možností.



Obr. 34: Snímek podpěry corocamerou

Kabelová koncovka 35 kV

Při pravidelné kontrole transformovny 110/35 kV proběhla lokalizace vadné kabelové koncovky v části 35 kV. Toto měření probíhalo podle řádu preventivní údržby v dané časové periodě. Bylo použito všech dostupných měřicích přístrojů. Při prvotním ohledání byla zjištěna v poli hromadného dálkového ovládání přítomnost částečných výbojů. Prvotní lokalizace probíhala za pomoci přístrojů LDP-5 (vf detektor) a ultrazvukového detektoru, prvním ze jmenovaných bylo provedeno zjištění o aktivitě výbojů v okolí kabelových koncovek, ale z okolí vrchních přípojníc přicházelo kapacitní rušení středně silné intenzity. Z toho důvodu nebyla možná přesnější lokalizace, při které by bylo možné s jistotou určit, na jaké kabelové koncovce se závada nachází. Ultrazvukový detektor jasně ukázal, ve které fázi se závada nachází, neboť na něj nemají vliv kapacitní výboje (rušení) z technologie vysokého napětí.



Obr. 35: Měřená kabelová koncovka

Pro přesnou lokalizaci místa vzniku bylo využito přístroje Vyzer a corocamery. Přístrojem Vyzer nejprve proběhlo zběžné ohledání v okolí kabelové koncovky, pak proběhla detekce kapacitních výbojů na vzdálenějších místech technologie, a to na měřicích transformátorech a odpojovačích ze směru od přípojníc. Přítomnost rušení byla zjištěna, jak nám již napověděl přístroj LDP-5, z toho důvodu proběhlo přivření brány na vstupu Vyzeru a odzkoušení, že přístroj nebude reagovat na toto rušení. Následovalo měření na kabelové koncovce, při kterém se zjistilo místo vzniku částečných výbojů. Při optické kontrole určeného místa byla v tomto místě patrná oxidace. V tomto případě se pravděpodobně jedná o povrchové výboje. Tomu by napovídal i stav kabelové koncovky, na které byla patrná oxidace. Zatím se tato oxidace nacházela pouze v přední části, ale dá se předpokládat, že se tato aktivita rozšíří i do stran až utvoří kolem místa závady prstenec.

Corocamera objasnila místo vzniku částečných výbojů i graficky a pořídila záznam o této aktivitě. Na snímku z corocamery je patrná nepřetržitá aktivita nízké intenzity č. v. Corocamera zaznamenala částečné výboje, které v tomto stádiu závady dosáhly narušení povrchu izolace koncovky a to tak vysoké úrovně, že došlo k vyzáření velkého množství emise do prostoru a kamera tak byla schopná přesné detekce. Po vyhodnocení všech dat a zjištění bylo rozhodnuto o výměně vadné koncovky. Výměna se uskuteční podle provozních možností.



Obr. 36: Snímek z corocamery

Porovnání

V průběhu používání corocamery a detektoru Vyzer byly tyto přístroje užívány v terénních podmínkách a jejich vlastnosti porovnány na jednotlivých závadách. Převážně byla sledována jejich schopnost odhalit závadu a přesně určit místo vzniku částečných výbojů v závislosti na okolních podmínkách s ohledem na atmosférické a klimatické vlivy. Bylo zjištěno, že schopnost přístrojů reagovat na částečné výboje se nemění s prostředím, ale intenzita výbojové aktivity je proměnná s prostředím a to hlavně s vlhkostí.

Pokud budeme uvažovat o schopnosti přístrojů zobrazit a archivovat naměřená data, musíme brát v úvahu další využití dat z měření nebo čas potřebný k získání těchto dat. Jestliže budeme požadovat pouze archivaci naměřených dat, je výhodnější použít corocameru. Neboť data jsou okamžitě zobrazována na displeji i s intenzitou výbojů a ukládají se přímo na kartu. Z této karty lze data stáhnout do PC a ve vhodném programu zpracovat. Oproti tomu detektor Vyzer je výhodnější použít, pokud chceme s daty dále pracovat. V tomto případě musíme sice použít k Vyzeru osciloskop, což je časově náročnější, ale můžeme s daty lépe pracovat, protože máme oproti kameře k dispozici signál nebo křivku místo snímku s intenzitou.

Další možností porovnání těchto přístrojů je ve schopnosti indikace výbojů. Když budeme porovnávat tyto dva přístroje z pohledu lokalizační schopnosti, musíme brát v úvahu, že detektor Vyzer byl navržen k vysokofrekvenční detekci převážně vnitřních výbojů a jeho schopnost je frekvenčně omezena (GHz). Corocamera je oproti němu navržena na optickém principu a záleží na schopnosti vyzařování optické emise ze zařízení.

Při měření vnějších č. v. detektorem Vyzer je měření ovlivněno atmosférickými podmínkami. Při měření ve vlhkých podmínkách bylo zjištěno, že četnost výbojů zpravidla stoupá, ale v některých případech naopak klesá, až ustává. Pokud se měřený prvek nedostane pod lokalizační schopnost detektoru, dokáže tento detektor velice přesně lokalizovat zdroj částečných výbojů, případně zdroj vysokofrekvenčního rušení. Corocamera znázorňuje částečné výboje také velice přesně a ve většině případů poukazuje na stejné závady jako Vyzer, ale v některých případech dochází k drobným odchylkám mezi těmito přístroji.

V případě měření vnitřních č. v. je schopnost indikace corocamerou výrazně ovlivněna možností vyzáření emise ze zařízení, proto je zde citlivost nižší. Záleží zde převážně na intenzitě č. v. v závislosti na prostupu k povrchu měřeného prvku. Nízká a střední intenzita nebývá zpravidla corocamerou lokalizovatelná. Oproti tomu detektor je schopen lokalizace i při nízké intenzitě č. v. Výhodou detektoru je i to, že má schopnost lokalizovat č. v. i ve zcela uzavřených prvcích s vysokou přesností.

5. Závěr

Částečné výboje jsou nedílnou součástí provozování elektrických zařízení. Vznik těchto výbojů způsobují mnohé faktory, ať už z hlediska působení vnějších vlivů nebo nedokonalým provedením a v neposlední řadě také záleží na způsobu provozování. V dnešní době záleží více jak dříve na stabilní dodávce elektrické energie, neboť lidská populace se na ní stala téměř závislou a i krátkodobý výpadek způsobuje nemalé problémy. Pravidelné měření čv na zařízení elektrické soustavy nám dává velikou výhodu v předcházení poruch a umožňuje odhalit stav, v jakém se měřený prvek nachází. Měření č. v. nám objasňuje závady, které jsou závažnějšího charakteru než například závady, které odhaluje termovize.

V této práci byla předvedena měřicí technika používaná v ČEZ. Její předvedení proběhlo za provozních podmínek, ve kterých provozní diagnostika běžně vykonává svojí činnost. Na několika případech závad je zde ukázána schopnost přístrojů lokalizovat poruchová místa s poukázáním na jejich vlastnosti a vypovídacími schopnostmi. Praktická měření ukázala, že není přístroj, který by byl schopen odhalit všechny různorodé druhy projevů č. v. a z tohoto důvodu je důležité provádět měření kombinací více měřicích přístrojů a postupů. Na základě toho je pak zaručena požadovaná přesnost a včasné odhalení závady. Příloha č. 5 názorně ukazuje zařízení, kde neprobíhalo pravidelné měření č. v.

6. Použitá literatura

- [1] Václav Mentlík, Josef Pihera, Radek Polanský, Pavel Prosr, Pavel Trnka: Diagnostika elektrických zařízení. Praha, 2008
- [2] Karel Záliš: Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů. Praha, 2005
- [3] ČSN EN 60270: Technika zkoušek vysokým napětím – Měření částečných výbojů, 2001
- [4] Ing. Petr Voda, Csc: Diagnostická měření částečných výbojů – úvod do problematiky. LDIC, 2001
- [5] OFIL systems: Technická dokumentace korónové kamery. OFIL, 2011
- [6] Ing. Lubomír Kočíš: Návod k obsluze přístroje VYZER II. Běchovice, 2008
- [7] František Ženožička, Jaroslav Vokálek, Vybrané problémy VF rušení působeného zařízením rozvodu vn, Konference Cired 2002
- [8] Doc. Dr. Ing. Věslav Mach, Technika vysokého napětí, Ostrava, 2006, 2. přepracované vydání
- [9] Ing. Eduard Bochňák, Jiří Koreš, Metodika ČDS_ME_0023r01: Diagnostika elektrických zařízení vn a vvn- měření č. v. za provozu, 2011

7. Seznam příloh

1. – Tabulka s postupem vyhodnocování závad
2. – Tabulka hodnotících stupňů
3. – Vadný měřicí transformátor následkem čv
4. – Příklad dlouhodobého působení čv
5. – Fotografie poruchy přístrojových transformátoru v zapouzdřené rozvodně.

Příloha č. 1 – Postup při vyhodnocování závad [9]

Postup pro vyhodnocení závad	
<p>Obečně platí u prvků zařízení vn: pokud jsou dobře technologicky vyrobená a správně namontovaná, nejsou na nich indikovány částečné výboje.</p> <p>Toto neplatí pro zařízení vvn a zvn, kde jsou indikovány korónové výboje ultrazvukovými detektory na hranách a armaturách. Měření ČV se provádí vysokofrekvenčním detektorem Vyzer.</p>	
V blízkosti měřeného zařízení jsou indikovány částečné výboje	
Pochází z vn zařízení	Nepochází z vn zařízení (průmyslová elektronika, vysílače)
Pochází z vn zařízení	
Předpokládá se dopad na spolehlivost provozu. Např. kabelové koncovky, měniče, vypínače, táhla odpínače atd.	Nepředpokládá se dopad na spolehlivost provozu. Pozor na možné zdroje vysokofrekvenčního rušení. Např. volná pružina odpínače atd.
Předpokládá se dopad na spolehlivost provozu	
Dohledání závady	Závada se nedohledává za předpokladu, že lze závadu jednoznačně určit a stanovit další postup.
Dohledání závady	
Dohledání závady s odstraněním krytů, přepážek, apod.	Dohledání závady bez odstranění krytů, přepážek
Předpokládá se dopad na spolehlivost provozu	
Po lokalizaci závady musí technik provádějící měření stanovit další postup pro provoz zařízení	

Příloha č. 2 – Stupně při vyhodnocování částečných výbojů [9]

Charakteristický projev závady	Hodnocení stavu		Doporučení
	Číselné	Slovní	
	1	OK – bez zjištění závady	Následné měření dle ŘPÚ
Velmi slabé ČV, obtížně indikované, zařízení je v suchých prostorách	2	Podezření na závadu	Opakované měření do 12 měsíců, dle posouzení technika
Zřetelně indikované ČV s možností určit prostor a místo vzniku částečných výbojů	3	Rozvíjející se závada	Oprava podle provozních možností nebo při následném ŘPU.
Indikované ČV s určením místa vzniku; viditelné (slyšitelné) stopy vznik ozónu, např. koncovka, přístroj, izolační desky	4	Vážná závada	Okamžitá oprava
Rušení způsobené okolním prostředím	X	Nelze měřit	Opakované měření za jiných podmínek



Příloha č. 3 – Vadný měřicí transformátor následkem čv



Příloha č. 4 - Příklad dlouhodobého působení čv



Příloha č.5 - fotografie poruchy přístrojových transformátoru v zapouzdřené rozvodně

